

v.6-
66-

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭63-304257

⑬ Int. Cl.⁴

G 03 F 1/00
H 01 L 21/30

識別記号

G C A
3 0 1

庁内整理番号

H-7204-2H
P-7376-5F

⑭ 公開 昭和63年(1988)12月12日

審査請求 有 請求項の数 1 (全9頁)

⑮ 発明の名称 リソグラフィ方法

⑯ 特 願 昭63-95824

⑰ 出 願 昭63(1988)4月20日

優先権主張 ⑱ 1987年6月1日 ⑲ 米国(US) ⑳ 056161

⑳ 発 明 者	バーン・ジェング・リ ン	アメリカ合衆国ニューヨーク州スカーズデイル、デイツケ ル・ロード15番地
㉑ 発 明 者	アン・マリイ・モルズ イ	アメリカ合衆国ニューヨーク州ワツピングー・フォ ズ、ヒルサイド・アヴェニュー3番地
㉒ 発 明 者	アレン・エドワード・ ローゼンブラツシュ	アメリカ合衆国ニューヨーク州ヨークタウン・ハイツ、ヒ ツコリイ・ストリート3017番地
㉓ 出 願 人	インターナショナル・ ビジネス・マシー ン・コーポレーション	アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州 アーモンク(番 地なし)
㉔ 代 理 人	弁理士 頼 宮 孝一	外1名

明 細 書

1. 発明の名称 リソグラフィ方法

2. 特許請求の範囲

(1) リソグラフィ・マスクを部材に対して位置付
け、上記リソグラフィ・マスクに光を照射するこ
とにより、上記部材に露光領域を形成するリソグ
ラフィ方法において、

上記露光領域を形成するための上記リソグラ
フィ・マスクのパターンが、リソグラフィの分解
能よりも小さな複数の透明要素および不透明要素
を含むことを特徴とするリソグラフィ方法。

3. 発明の詳細な説明

A. 産業上の利用分野

本発明は、イメージ品質の向上したリソグラ
フィ・プロセスに関するものである。具体的に言
うと、本発明は、リソグラフィ・プロセス自体に
よって生じるイメージの劣化の少なくとも一部を
補償する領域をもたらしリソグラフィ・マスクに
関するものである。本発明にもとづくリソグラ

フィ・マスクは、化学線露光域の透過率を制御す
るための解像度以下のハーフトーンがマスク・パ
ターン内部に組み込まれている。

B. 従来技術

集積回路チップを含む集積回路の製造において、
最も重要で決定的なステップの1つは、所期の回
路パターンを設けるためのリソグラフィ処理であ
る。

たとえば、リソグラフィ・プロセスは、結像レ
ンズを用いてフォトリソグラフィ・マスクからフォ
トレジスト被覆にパターンを転写するために、露
光線などの化学線を用いることを含んでいる。マ
スクは、所期のまたは所定のパターンのレジスト
被覆の開口の形状と一致するような不透明領域と
透明領域を含んでいる。

ポジティブ・レジスト被覆の場合、マスクの透
明な部分が、レジスト被覆に設けるべき所期のパ
ターンまたはイメージに対応する。フォトレジス
ト被覆がネガティブ・レジストの場合は、マスク
の不透明な部分または領域がフォトレジスト被覆

に設けるべき後の開口領域に対応する。

C. 発明が解決しようとする課題

しかし、所期のパターンの特徴形状の寸法が、使用するフォトリソグラフィ装置の解像度に近づくにつれて、現像される領域の輪郭が所期の理想のパターンの輪郭から大幅にずれていく。このパターンからの偏差または誤差は、パターンに依存することが多く、したがって現像手順の全体的変更によって矯正することが難しい。こうした問題は、たとえばリン(Lin)の米国特許第4458371号で考察されている。

D. 課題を解決するための手段

本発明は、改良されたフォトリソグラフィおよび改良されたイメージ品質を提供する。具体的に言うと、本発明は、フォトリソグラフィ・プロセスによって生じるイメージの劣化をほぼ補償する。本発明は、フォトリソグラフィ・プロセス中のパターンに依存する誤差の矯正に関するものである。

具体的には、本発明によれば、ハーフトーンを含むマスクの使用によって改良されたフォトリソ

グラフィ・プロセスが得られる。フォトリソグラフィ・マスクのハーフトーン領域により、フォトリソグラフィ・プロセス自体によって生じるイメージの劣化が補償できる。ハーフトーン領域は、不透明なまたは透明な解像度以下の要素の配列から形成される。

具体的には、本発明は、イメージ品質が向上したリソグラフィ・プロセスに関するものである。このプロセスは、化学線を受ける区域を固定するためのフォトリソグラフィ・マスクのイメージを受け取る部材を位置決めすることを含んでいる。この部材は、マスクに隣接させても、またマスクと部材の間にレンズを置いてマスクから約500nmあるいはそれ以上の所定の距離だけ離してもよい。フォトリソグラフィ・マスクは、それぞれ結像に使用するフォトリソグラフィの解像度よりも小さな、複数の不透明要素または透明要素または半透明要素を含んでいる。こうした不透明要素または透明要素は、化学線露光域の透過率を制御する。どのタイプのハーフトーンを用いるかたと

えば透明が不透明か)は、マスクの書き込み時間(すなわちハーフトーンの数)と最小寸法の製造の難しさ(すなわち極性-レジストがネガティブかポジティブか)の間の実質的なトレードオフによって決まる。

E. 実施例

本発明は、ハーフトーンを含むマスクの使用によって改良されたフォトリソグラフィを得ることに関するものである。

本発明にもとづいて使用するフォトリソグラフィ・マスク中に存在するハーフトーン領域は、フォトリソグラフィ・プロセス自体によって生じるイメージの劣化をほぼ補償する。

ハーフトーン領域は、幾何形状に依存する劣化を含む露光およびパターンを矯正する手段となる。

具体的には、使用するフォトリソグラフィの解像度よりも小さな不透明要素または透明要素がフォトリソグラフィ・マスク中に存在するので、対応するマスク開口またはその一部分の透過率を調節することにより、化学線に対する露光を補正する

ことができる。具体的には、使用するフォトリソグラフィの解像度より小さな不透明要素を使用するとき、これらの不透明要素は個別には再生されず、単に形状の露光量を減少させるだけとなる。これに対応して、使用するフォトリソグラフィの解像度よりも小さな不透明要素をマスク被覆から選択的に削除することにより、通常なら不透明なマスク・パターンに有限の透過率を導入することができる。

第2図には、2つの対象物を含む従来のフォトリソグラフィ用マスクを示す。黒色域(1)はマスクの不透明区域を表わし、白色域(2)はマスクの透明部分を表わす。このマスクは、倍率が約10倍である。点を打った円(3)は、ここに示した特定の例の凡そのリソグラフィ解像度を示す。

第1図は、本発明にもとづくハーフトーン・マスクを表わしたもので、その黒色部分(1)はマスクの不透明部分を表わし、白色部分(2)はマスクの透明部分、黒色部分(4)は使用するフォ

トリソグラフィの解像度よりも小さな不透明部分を覆す。点を打った円(3)は、この例凡そのリソグラフィ解像度を示す。

第3A図ないし第3D図に示した通り、全体的な微細形状の露光の調節により、フォトリソグラフィ・イメージの品質が大幅に改善される。

具体的に言うと、図に示した特定のフォトリソグラフィでは、マスクとウェハの間にウェハをレンズの像側にして、回折制限(diffraction limited)レンズを使った、3/4ミクロンの光学フォトリソグラフィが使われている。レンズの開口径(NA(ウェハ))は約0.28、波長は約438nm、縮小率は約1/10、ひとみ充填比(pupil filling ratio)φは約0.7である。この系の全体の解像度は $r(\text{マスク}) = 10 \times r(\text{ウェハ}) = 10 \times (0.5\lambda / \text{NA}(\text{ウェハ})) = 7.8$ ミクロンである。第2図に示したような所期のパターンは、7.5ミクロン平方の開口(コンタクト・ホール)と7.5×25ミクロンの長方形開口(線)の2つの対象物からなる。対

応するウェハ平面寸法は、約1/10に縮小される。

この例では、レンズの解像度V(マスク)(第1図および第2図に点線の円(3)で示す)は、7.5ミクロンという微細形状の最小寸法と同程度である。解像度が限られているため、両方の微細形状に対する露光寛容度の鮮明さが失われる。また、実際にマスクの下にあるウェハまで通過する露光強度が低下する。さらに、コンタクト・ホールの形状が両方の寸法で解像度限界に近づくことに留意されたい。そのため、コンタクト・ホールの露出が、従来のマスクを使ったときの線の露出よりも低くなる。

第3A図および第3B図は、従来のマスクを用いて第2図からプリントしたイメージを示したものである。ローゼンブルート(Rosenbluth)等が「シミュレート投映イメージを使ったサブミクロン光学リソグラフィの臨界検査(A Critical Examination of Sub-micron Optical Lithography Using Simulated Projection

Images"」、Journal of Vacuum Science Technology) B1(4)、1983年、1180ページで論じているような、部分コヒーレント・レンズ系で投映したイメージのコンピュータ・シミュレーションを用いて、各プリント回路の輪郭を計算する。コンタクト・ホールの直径が所期の0.75ミクロンになるのに充分なだけレジストを現像すると、臨界の0.75ミクロンの寸法で線が約35%現像され過ぎる。一方、従来のマスクを用いて、線を正しい幅に現像すると、第3B図に示すように、露出が低いコンタクト・ホールの露出不足またはプリント不足となる。

第3C図および第3D図は、第1図に示したような本発明のハーフトーン・マスクを用いて得られるイメージのシミュレーションを示したものである。1/10倍マスクの開口径が、0.8×0.8ミクロンの解像度未満の図素に分割されている。線の図素は8個のうち5個が不透明であり、コンタクト・ホールの場合は4個が不透明である。第3C図および第3D図は、どちらか一方の微細形

状を正しい幅に現像したとき、もう一方の微細形状にほとんど誤差が生じないことを示している。たとえば、線用開口のオープン・ハーフトーンの割合を小さくすると、線イメージの露出がコンタクト・ホールの露出と一致するように低下する。この露出補正は、露出時間の増加によって得られる。

不透明ハーフトーンは、標準の製造工程を用いてマスク上に生成でき、使用するフォトリソグラフィの解像度は、後のフォトリソグラフィでマスクを使って所期のパターンを現像するときを使う解像度より大きい。しかし、通常、露光技術のリソグラフィを用いるとき、マスクを作成するのに必要な解像度は、必ずしもウェハにプリントするとき用いる解像度よりも細かくはない。マスクがたとえば約1/5ないし1/10倍に縮小されるためである。たとえば、透明なガラス基板に約500Åのたとえばクロムの層を敷き、次にフォトレジスト材料の層を敷いてハーフトーン・マスクを作成することができる。次にフォトレジスト

を現像して所期のハーフトーン・パターンを、フォトリソグラフ下のクロムをエッチングで除去する。次いで残ったフォトリソグラフを除去する。

さらに、マスク中にハーフトーン圖案を作成することができ、後でそれらの圖案を縮小ステップなどのリソグラフィ手段で縮小する。2次元マスク・パターンをフーリエ変換する場合、こうした縮小光学系は $r(\text{マスク}) = 0.5 M \lambda / NA$ (ウェハ) より細かい周期をもつ空間周波数を再生しない。ただし、 M は拡大率である。しかしハーフトーン要素が十分に小さくはない場合、解像可能な空間周波数で大きなフーリエ成分を生成し、したがってイメージ中に容認できないノイズが入る。たとえば、希望するなら、ハーフトーンを格子状のパターンに配列することができる。格子中の空間周波数は、使用するフォトリソグラフィ装置のイメージング帯域幅の外側にくるように選定しなければならない。理想としては、線形または双線形 (bilinear) 縮小光学系で投射したイメージは、グレイ・レベルのDC成分のみからなる。

第4C図は、第4A図と第4B図のたたみ込みからなる補正マスクのスペクトルを示している。第4C図を第4B図と比較すると、解像可能な周波数でパターン中に誤差成分が含まれていることがわかる。

本発明およびハーフトーンを用いて、相異なるパターンの露出を等しくすることもできるだけでなく、本発明にもとづくマスク構造を設けて、パターン自体の内部で均一な補正を行なうことができる。たとえば、有効グレイ・レベルを個々のマスク開口内部で変化させて、個々のマスクの隅部および縁部で有効透過率を高めることができる。こうすると、イメージの品質をさらに全体的に向上させることが可能になる。

本発明の技術は、上記に詳しく説明したハーフトーン・マスクの作成に使われる2重マスク作成工程で使用できるだけでなく、より一般的なマスクのクラス(たとえば、負または虚数の透過率をもつマスク)を作成するためのレーベンソン位相展法などのより精巧なマスク作成工程と一緒に使

しかし、補正されたマスクは、未補正パターンと高周波数の格子との積から構成される。具体的に言うと、第4A図に示すように、非線形の積によって生じる低周波数のハーモニクスからノイズが生じる。このノイズは、微細形状の近傍に局在し、実際にイメージの位置の小さなずれによって生じる強度変化と同等である。イメージのずれによる残留ノイズまたは強度変化は、未補正の光学的近接効果に比べて小さくすることができ、微細形状の最小寸法がフォトリソグラフィ・ツールで使用されるレンズの解像度に近づく場合にはとくにそうである。そうした場合、ハーフトーン圖案はレンズの解像度に比べて小さくなる。

第4A図は、ハーフトーンの格子状配列に含まれる空間周波数のスペクトルを示したものである。帯域が制限された光学系は、中央のDCハーモニクスのみを捕捉し、次いで所期の均一なイメージの露光を生じる。第4B図は、2重リソグラフィ・パターンの帯域が制限できない、未補正のマスク・パターンのスペクトルを示したものである。一方、

用することもできる。この位相展法は、レーベンソン (Levenson) 等の論文 "位相シフト・マスクを用いた改良された解像度とフォトリソグラフィ (Improved Resolution and Photolithography with a Phase-Shifting Mask)"、IEEE

Transaction on Electron Devices, ED-29, 1982年、1828ページに開示されている。たとえば、その第5図を参照のこと。この技法は、4つの基本振幅を重ね合わせて、複素平面内で任意の振幅を合成することができる。たとえば、マスク中の各解像度要素に対して任意の正味複素透過率を定義するのに、4種の異なるハーフトーン要素があれば充分である。たとえば、この4つの要素は、光学的厚さが $1/3$ 波長の透明な被覆をもつ圖案(11)、厚さが $2/3$ 波長の被覆をもつ圖案(12)、未被覆圖案(13)および未被覆の基板上の不透明な圖案(14)を含むことができる。第5図で、番号13は未被覆の基板を表わす。その領域が1圖案を表わす。未被覆の領域は白で示してある。得られるマスクの位相透過率

と振幅透過率は、レンズの解像度の範囲内で任意に空間的に変化させることができる。こうしたマスクは、2次元の光学的物体の最も一般的なクラスを形成する。したがって、リソグラフィ工程での品質低下を最も完全に補正するようなマスク・パターンを選ぶことができる。

第5図は、有効マスク透過率がY方向では変化するがX方向では変化しないハーフトーンを含むマスクの概略図である。X方向の各ストリップの正味振幅透過率 $T(Y)$ をグラフにXで示す。図に示した負の透過率は、不透明ハーフトーンだけでは得ることができない。位相ハーフトーンを使うと、一般的複素透過率が可能になる。

さらに、本発明によれば、最大許容要素寸法とその判定基準を決定する方法が提供される。

マスク開口内にハーフトーン要素を配置するための単純な方式は、ハーフトーンが存在可能部位を確率 p でランダムに充填するものである(p は減衰率)。その場合、有限の要素寸法ではイメージがランダムなショット・ノイズを含むことにな

相互間の相互作用の程度は、下記の程度となる。

$$[2] \quad \Delta I \sim \frac{\sin^2(\pi d/2r(q\lambda))}{(\pi d/2r(q\lambda))^2}$$

式2は、ある微細形状の幾何的境界の外 d の距離での残留レンズ応答と考えることができる。一方、式1は基本的に幅が a の解像度未精の微細形状に対するピーク・レンズ応答である。したがって、(d と r (ウェハ)が同程度の場合) a (マスク)が r (マスク)に比べて小さいとき、式1は式2よりもかなり小さくなる。

式1で表わされる増分は、ランダムに分散されたハーフトーン微細形状の場合のような揺らぎを示さない。さらに、式1はハーフトーン格子によって導入される誤差の上限を表わしている。

真のグレイ・レベルを含むマスクの代わりにハーフトーン・マスクを使ったときに導入される誤差を推定するため、半平面を非コヒーレント照明で結像させる単純な1次元の場合を考える。領域 $x < 0$ は不透明とみなされ、領域 $x > 0$ は透過率が50%の連続膜またはピッチが $2a$ の等線間隔格

る。信号対雑音比は、大体レンズの1解像度要素内のハーフトーン微細形状の数の平方根となる。各チップに多数の解像度要素が含まれる場合、まれに起こる異常な大きさのノイズの揺らぎを排除するように、名目上ランダムな配置手順を修正すべきである。

もう一つのより好ましい手法は、ハーフトーン要素を2次元格子中で系統的に配列するものである。

パターン縁部付近での強度誤差は、下記の程度のピークをもつ。

$$[1] \quad \frac{\Delta I}{I_0} = \frac{a(\text{マスク})}{8r(\text{マスク})}$$

ただし、 $a(\text{マスク}) = M a(\text{ウェハ})$ は1個のハーフトーン要素の寸法、 M は拡大率、 $r(\text{マスク}) = M r(\text{ウェハ})$ は解像度(この場合 $0.5 \lambda / NA$ と定義)、 I_0 は大きな物体のイメージ内部の強度として定義される基本露光レベルである。

補正を加えない場合、臨界寸法が d の微細形状

子とみなされる。

こうした条件のもとでは、グッドマン(Goodman)が「フーリエ光学入門

(Introduction to Fourier Optics)」、マグローヒル社、1988年、第8章で論じているように、イメージ強度は次式で与えられる。

$$[3] \quad I(x_1) = I_0 \int_0^a dx_0 h(x_1 - x_0) g(x_0)$$

ただし、 $g(x_0)$ はマスクの透過率であり、非コヒーレントな1次元結像であると仮定して、強度応答関数は次式で与えられるものとする。

$$[4] \quad h(x_1) = \frac{1}{2r(q\lambda)} \frac{\sin^2(\pi x_1/2r(q\lambda))}{(\pi x_1/2r(q\lambda))^2}$$

真のグレイ・レベルのイメージとハーフトーンを用いて得られるイメージの強度の差は次のようになる。

$$[5] \quad \frac{\Delta I}{I} = 0.5 \left[\int_0^a dx_0 h(x_1 - x_0) - \int_{-\infty}^{\infty} dx_0 h(x_1 - x_0) \cdot \int_{-\infty}^{\infty} dx_0 h(x_1 - x_0) - \int_{-\infty}^{\infty} dx_0 h(x_1 - x_0) \dots \right]$$

$$[6] \quad \approx -\frac{a}{4} \int_0^a dx_0 \frac{d}{dx_0} h(x_1 - x_0)$$

$$[7] = \frac{1}{8r(7x\lambda)} \frac{\sin^2(\pi x_1/2r(7x\lambda))}{(\pi x_1/2r(7x\lambda))^2}$$

これから上記の式1が得られる。式8では、各周期内で2項のテイラー展開でhが近似できるほど、ハーフトーン周期が小さいものと仮定している。

上記の手法が、照明が部分的にコヒーレントでありうる一般の2次元の計算の基礎となる。任意の形のマスク開口を充填する一般の2次元ハーフトーン格子が解析できる。

単一の点光源からハーフトーン物体を通して投射されるイメージの振幅は、ボルン (Born) 等が「光学の原理 (Principles of Optics)」, 第5版、パーガモン社、オックスフォード、1985年第10章で論じているように、下記ようになる。

$$[8] \quad v(\vec{x}_1; \vec{x}_0) = \int_{\text{開口領域}} dA_0 h(\vec{x}_1 - \vec{x}_0) p(\vec{x}_0; \vec{x}_0) S(\vec{x}_0) g(\vec{x}_0)$$

ただし、 $S(x_0)$ は x_0 での点光源の強さ、 $h(x_1)$ は振幅パルス応答、 $P(x_0; x_0)$ は1

変えると、

$$[13] \quad v(\vec{x}_1; \vec{x}_0) = \sum_j S(\vec{x}_0) \int_{\text{j番目の周期}} dA_0 (\Delta g(\Delta \vec{x}_0) \cdot \vec{x}) \\ [h(\vec{x}_1 - \vec{x}_0) p(\vec{x}_0; \vec{x}_0) + \Delta \vec{x}_0 \cdot \nabla (h(\vec{x}_1 - \vec{x}_0) p(\vec{x}_0; \vec{x}_0))]$$

これから、(式9と12を使って、ハーフトーン項全体について積分し、得られるh項とp項の和を積分で近似すると)、次式が得られる。

$$[14] \quad v(\vec{x}_1; \vec{x}_0) = \bar{g} S(\vec{x}_0) \left[\int_{\text{開口領域}} dA_0 h(\vec{x}_1 - \vec{x}_0) p(\vec{x}_0; \vec{x}_0) + \int_{\text{開口領域}} dA_0 \langle \vec{r} \rangle \cdot \nabla (h(\vec{x}_1 - \vec{x}_0) p(\vec{x}_0; \vec{x}_0)) \right]$$

$$[15] \quad \langle \vec{r} \rangle = \frac{\int_{\text{周期}} dA_0 \Delta \vec{x}_0 g(\vec{x}_0)}{\int_{\text{周期}} dA_0 g(\vec{x}_0)}$$

d_0 が開口の縁部に沿った方向の微分ベクトルであり、 z が対象平面に垂直な向きである。合、グラッドシュトリン (Gradshteyn) 他が「積分表

個の点光源による対象平面を照射する振幅、 $g(x_0)$ は上記と同様に周期的ハーフトーン透過率関数である。ハーフトーン格子の第j周期の透過率関数を下記のように置く。

$$[9] \quad g(\vec{x}_0) = \Delta g(\Delta \vec{x}_0) + \bar{g}$$

ただし、

$$[10] \quad \Delta \vec{x}_0 = \vec{x}_0 - \vec{x}_0,$$

かつ

$$[11] \quad \bar{g} = \frac{\int_{\text{周期}} dA_0 g(\vec{x}_0)}{\int_{\text{周期}} dA_0}$$

かつ、式10の x_0 は次式で暗示的に定義される。

$$[12] \quad \int_{\text{周期}} dA_0 \Delta \vec{x}_0 = 0$$

(すなわち、 x_0 はj番目のハーフトーン周期の幾何学的中心である。)

ハーフトーン周期は、各周期内の像側および光源側で2項のテイラー展開が可能なほど小さいと仮定する。次に式8の積分変数を x_0 から x_0 に

(Tables of Integrals)」、Series 1 and Products and Jeffrey、アカデミック・プレス、1980年、#10、723、1091ページで論じているような、ストークスの定理の一変形を使うと、式14は下記ようになる。

$$[16] \quad v(\vec{x}_1; \vec{x}_0) = \bar{g} S(\vec{x}_0) \left[\int_{\text{開口領域}} dA_0 h(\vec{x}_1 - \vec{x}_0) p(\vec{x}_0; \vec{x}_0) + \langle \vec{r} \rangle \cdot \int_{\text{開口縁}} d\vec{x}_0 h(\vec{x}_1 - \vec{x}_0) p(\vec{x}_0; \vec{x}_0) \right]$$

ただし、

$$[17] \quad d\vec{m} = d\vec{s} \times \hat{z}$$

すなわち、 $d\vec{m}$ は開口縁部に垂直な向きの無限小ベクトルである。

最後に、積 $V V^*$ を形成し、光源の点 x_0 のすべてにわたって積分する。相互コヒーレンスの定理

$$[18] \quad \mu(\vec{x}_0; \vec{x}_0) = \int_{\text{光源領域}} dA_0 S^2(\vec{x}_0) g(\vec{x}_0) p(\vec{x}_0; \vec{x}_0) p^*(\vec{x}_0; \vec{x}_0)$$

を使い、透過率が $g g^*$ の真の連続トーン像に対応するイメージ強度を差し引くと、次式が得られ

る。

[19]

$$\frac{\Delta I}{I}(\vec{x}_1) = \int \int_{\text{開口線}} (d\vec{m} \cdot \langle \vec{r} \rangle) (d\vec{m}' \cdot \langle \vec{r}' \rangle) h(\vec{x}_1 - \vec{x}_0) \\ h^*(\vec{x}_1 - \vec{x}_0) \mu(\vec{x}_0 - \vec{x}_0) \\ + 2\text{Re} \left[\int dA_0 \int_{\text{開口領域}} d\vec{m} \cdot \langle \vec{r} \rangle h(\vec{x}_1 - \vec{x}_0) h^*(\vec{x}_1 - \vec{x}_0) \right. \\ \left. \mu(\vec{x}_0 - \vec{x}_0) \right]$$

式19は、真の連続トーン膜イメージからの外れが、連続トーン膜イメージ自体と微細形状の境界をたどるスリット様開口によって透過される振幅と等価な振幅という2つの光源間の干渉と考えることができることを示している。このスリットの幅は基本的に $\langle r \rangle$ で、1ハーフトーンの幅程度である。上記の例のように、これは、残留誤差が未補正の近接効果に比べて小さいことを示唆するものである。

同じことであるが、このハーフトーン開口を、位置が距離 $\langle r \rangle$ だけずれた連続トーン膜開口とみなすこともできる。というのは、こうしたずれによって、式18の場合と同じ縁部様の寄与分だ

1972年、977ページに出ている。したがって、近接プリントの場合の解像度未満の要素の寸法は、 $\sqrt{\lambda Z^{1/2}}$ より小さくなる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、本発明にもとづくハーフトーン・マスクの概略図である。

第2図は、2個の物体を含む従来のマスクの約10倍の概略図である。

第3A図および第3B図は、第2図の従来のマスクで作成されるイメージを示す。

第3C図および第3D図は、第1図に示した本発明によるハーフトーン・マスクで作成されるイメージを示す。

第4A図は、ハーフトーンの格子状配列に含まれる空間周波数のスペクトルを示す。

第4B図は、未補正のマスク・パターンのスペクトルを示す。

第4C図は、補正マスクのスペクトルを示す。

第5図は、本発明にもとづく位相ハーフトーンを含むマスクの概略図である。

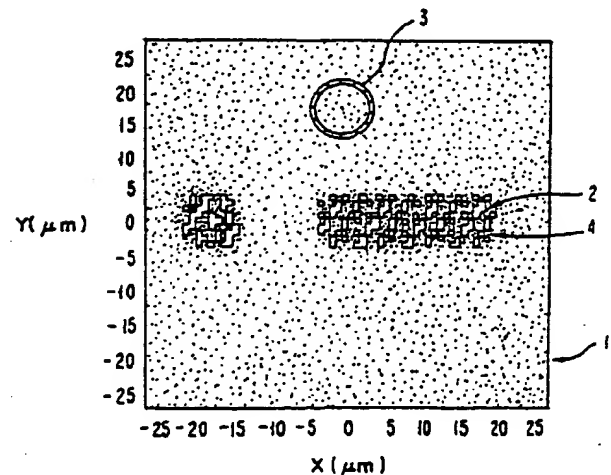
け透過振幅が変化するからである。開口が周期の整数倍でないときも同様の寄与が生じる。

より一般的な非周期的ハーフトーン物体も同様に、小さな内部変形を受けた可変透過率の体とみなすことができる。非周期的な場合、変形は不均一である。

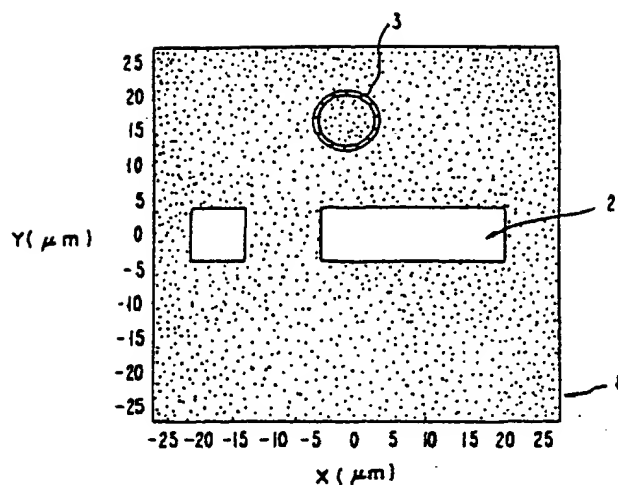
同様に、イメージを受ける部材が間にレンズを置かずにマスクの近傍に置かれている場合に、解像度未満の要素の分布を決定することができる。この場合、 $h(x_1 - x_0)$ を次式で置き換える。

$$[20] h(x_1 - x_0) = \frac{e^{-\frac{12\pi}{\lambda} [(x_1 - x_0)^2 + z^2]^{1/2}}}{\frac{2\pi}{\lambda} [(x_1 - x_0)^2 + z^2]^{1/2}}$$

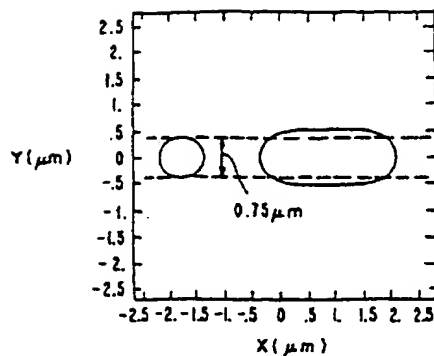
ただし、 λ は化学線の波長、 z はマスクと部材の間の距離である。この関数 $h(x_1 - x_0)$ の詳細およびそれより優れた関数の詳細については、Lin, Polymer Engineering and Science, Vol. 14, 1975年、1317ページ、およびJ. Opt. Soc. Am., Vol. 62,



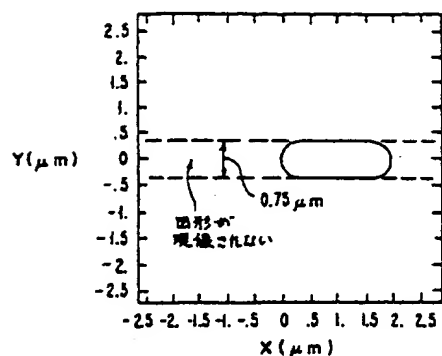
第1図



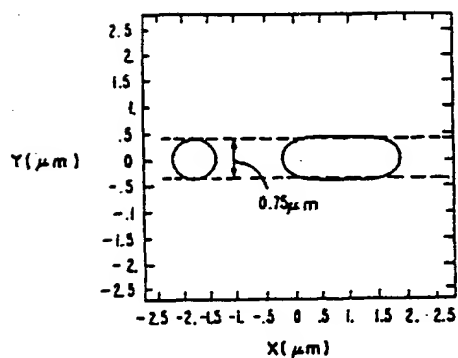
第2図



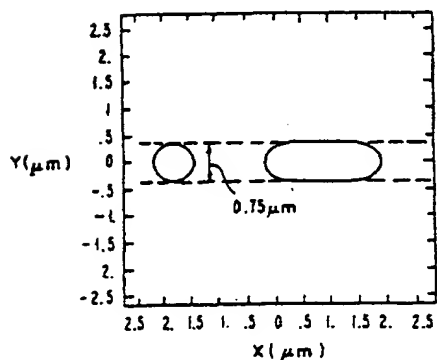
第3A図



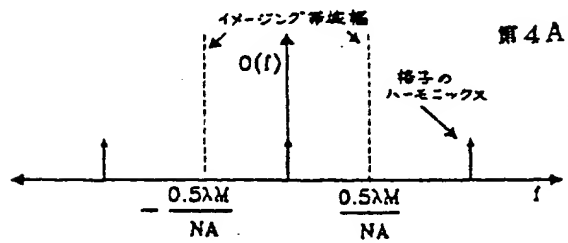
第3B図



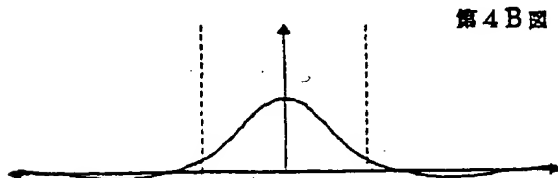
第3C図



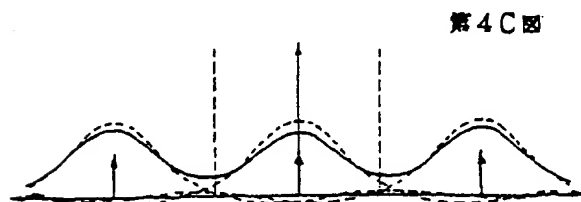
第3D図



第4A図



第4B図



第4C図

第5図

